〈논문〉 SAE NO. 2000-03-0020

운전석용 하이브리드형 경량 좌석의 개발

Development of Hybrid Type Automotive Drivers Seat

김 정 인*, 최 금 호**, 이 병 휘**, 이 우 일***, 김 희 성****
Jungin Kim, Gum Ho Choe, Byeong Huee Lee, Woo Il Lee, Hee Sung Kim

ABSTRACT

A hybrid type automotive drivers seat was invented with new concepts for the reduction of weight and manufacturing costs. Fundamental studies were performed to determine the basic geometry of reinforcing support. A prototypical design was provided by the manufacturer considering compatibility with other parts. Several structural analyses simulating various crash situations were performed and modifications were continued until a final design was reached. A sample product was manufactured and sled crash tests were performed to verify the safety of the seat. Comparisons of test results with the previous model and a seat from another company proved the safety performances to be superior.

주요기술용어 : Hybrid Type Seat(하이브리드형 좌석), Composite(복합 재료), Structural Analysis(구조 해석), FEM(Finite Element Method, 유한 요소법), Crash Test (충돌 시험)

1. 서 론

차량의 구조 중 시트는 승객의 안전과 동시에 만족도를 좌우하는 중요한 역할을 하고 있다. 또한 이 시트 구조는 전체 차량의 가격과 중량의 3-5%를 차지하므로, 현 자동차 산업계에서는 연비 개선과 가격 경쟁력 확보의 측면에서 이 구조물의 가격과 중량을 최소화하는 동시에 안전성과 안락감을 확보하는 방향으로의 연구에 많은 노력을 기울이고 있다.

기존의 시트 구조물은 대부분 강판이나 알루미늄 합금의 구조로 되어있다. 이는 안전성을 확보하는 데에 유리한 반면에 단위 부피당 무게가 큰 단점을 가져, 이 구조물의 재료를 복합재료로 대체하는 방법이 다양하게 연구되고 있으며[1], 이를 실용화하는 것도 이미 상당히 진척되어 있는 상황이다(BMW 3 Series, Dodge Viper). 기존의 재료를 복합재료로 대체할 경우 효과적으로 경량화를 이룰 수 있지만, 기존의 재료에 비해 강도가 떨어지므로 안전성에 대한 검증이 충분히

* 정회원, 서울대학교 대학원
** 정회원, 기술표준원
*** 정회원, 서울대학교 기계공학과
**** 정회원, ㈜대원강업

수행되어야 한다.

본 연구에서는 기존의 강철 재료의 시트 구조물을 대체하는 새로운 개념의 하이브리드형 구조물을 개발하였으며, 시제품을 이용한 실제 모의 충돌 시험을 통하여 개발 방식의 타당성을 검증하였다. 이러한 새로운 개념의 구조물은 이제까지 개발된 전례가 없으므로, 기본적인 개념과 구조의 확립부터 시작하여 수많은 수치 해석과 이의 결과에 대한 고찰을 통한 형상의 최적화를 단계적으로 거쳐 최종 형상 결정에 이르고, 이에 해당하는 시제품의 개발과 충돌 시험 결과의 고찰 등의 과정을 순차적으로 소개하였다. 이를 통해 본 구조물의 실용성과 안전성 등을 검증함은 물론, 새로운 개념의 제품의 개발을 위한 방법의 소개를 통해 다른 제품의 개발에도 도움을 주고자 하였다.

2. 기본 개념 확립

본 연구에서 개발 및 대체의 대상으로 채택한 시트 구조물은 ㈜대원강업에서 제조하여 ㈜대우자동차의 모델 라노스에 장착되는 운전석용 좌석이다. 기존의 시트 구조물은 기본적으로 좌석판이 두께 0.8mm의 철판으로 구성되어 있고, 좌석판 아래로 철강 구조의 보강재가 여러 개 설치되어 있다. 따라서 좌석을 앞뒤로 움직여 주는 시트레일 위에 장착되는 좌석판과 보강재의 총 무게는 3.0kg이며 총 완성 부품 수는 8개이다.

복합재료로의 대체는 대폭적인 중량의 감소 외에도 다음과 같은 장점들을 가지고 있다. 현 강철판 구조의 좌석판은 성형이 용이하지 않아 단지 형상을 구성하기 위해서도 부품의 개수가 많이 늘어나고, 또한 하나의 완성 부품의 구성을 위해서도 용접 등 여러 단계를 거쳐야 하므로 이에 따라 공정이 매우 복잡해지는 문제점이 있다. 따라서 성형이 용이한 복합재료로 재료를 대체할 경우 부품 수와 공정 단계가 하나로 대폭 감소하는 효과를 가져오게 된다. 또한, 유리섬유와 열가소성 수지의 복합재료를 사용할 경우 같은 충격하중이 가해졌을 때 기존의 철판 구조보다 크게 변형하여 승객에게 가해지는 충돌 에너지를 효과적으로 감소시키는 작용도 하게 된다. 이는 파괴강도의 범위 내에서 복합재료의 탄성계수가 강철보다 작으므로 변형량이 커진다는 사실에서 확인할 수 있다[2]. 또한 열가소성 수지를 사용할 경우 재활용이 가능하여 자연친화적 관점에서도 유리하게 된다. 하지만 재료를 복합재료로 대체하는 과정에서 가장 문제가 되는 부분은 바로 강도 및 안전성에 대한 고려로서, 구조물을 모두 복합재료로 대체할 경우 보강을 고려한 설계에도 불구하고 운전석에 요구되는 안전 기준을 만족시키기 어려울 뿐더러, 충돌시 승객을 보호하지 못할 가능성을 지니는 단점을 가지게 된다[3-4]. 이와 같은 현상은 기존의 충돌 시험에서도 관찰되었다[5].

이러한 단점을 보완하기 위해서는 보강재를 삽입해야 하는데, 보강재는 충돌 순간에 복합재료 좌석판의 한 부분이 파단되며 국부적으로 주위에 큰 변위를 가하는 현상을 억제하여 연성이 뛰어난 복합재료의 파괴 현상을 막는 동시에, 국부적으로 집중되는 하중을 효과적으로 분산시키는 방향으로 변형하여 충격량을 최소화하는 역할 등을 수행하도록 설계되어야 한다. 또한 최소의 중량을 갖도록 설계되어야 하며, 위에서 언급한 대로 부품의 수를 최소화하여 공정을 단축시키는 효과를 가져야 한다. 따라서 본 연구에서는 기존의 여러 다른 보강재를 조합하는 방식과는 달리 시트레일과 복합재료 좌석판을 연결하며 보강 역할을 하는 일체형 보강재를 개발하여 총 구조물을 단 두개의 부품, 즉 강철 보강재와 복합재료 좌석판만으로 구성하여 부품 수를 최소화하는 동시에 중량을 최소화하는 하이브리드형 구조물을 개발하는 데에 목표를 두었다. 이렇게 부품수가 최소화될 경우 각 부품의 제조 공정이 적절히 선택되고 이에 따라 제품 설계가 이루어지면 생산가의 절감 효과 또한 꾀할 수 있으며, 이러한 중량 및 생산가 감소의 효과는 뒤의 결과 부분에서 확인할 수 있었다.

3. 기초 형상 설정

좌석판을 지지하는 일체형 보강재의 기본적 형상을 결정하기 위하여 세 가지의 다른 기초 형상에 대해 강도를 나타내는 관성 모멘트의 계산 및 간단한 구조해석을 수행하였다. 채택된 세가지 형상 및 각각 경우의 관성 모멘트, 기존의 보강재와 같은 강도를 갖는 I 빔으로 대체했을 경우의 무게 추정치 등을 Fig.1에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 가장 가벼운 I형의 경우 관성 모멘트의 값이 가장 낮았으며, II형과 V형의 경우 무게와 관성 모멘트 값에서 거의 비슷한 경향을 나타내었다. 주목해야 할 점은 V형의 관성 모멘트 값이 II형에 비해 전체적으로 낮지만 충돌시 가장 중요한 값인 I_{xx}의 값은 높으므로 가장 적절한 형상에 가깝다고 생각할 수 있다[6].

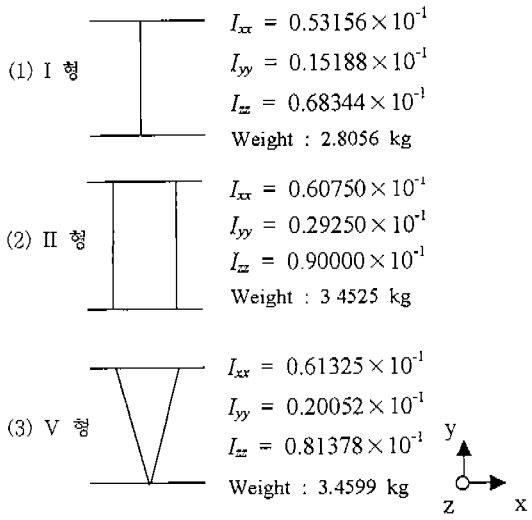


Fig. 1 Various properties of basic reinforcement geometries

언급한 세가지 형상의 보강재에 대하여 대략적인 전체 시트 구조물의 형상을 가정하고 간단한 구조해석을 수행하였다. 경계 조건으로는 충돌시 가장 기본적인 조건인 좌석판의 앞 기울어진 부분, 즉 승객의 둔부가 닿는 부분에 시트 제작사(미 Chrysler)의 전방 충돌 모사 시험시 가하는 정하중인 1500N을 분포 압력 하중으로 가하고, 시트 레일부와의 연결부인 보강재 끝 네 부분에 고정 변위 경계조건을 가하였다[1]. 해석 결과로서 응력과 변형의 분포를 고찰하였다. 사용된 프로그램은 구조 해석용 상용 프로그램인 ANSYS였으며, 모든 격자계는 2차원 shell 요소로 이루어져있다.

해석 결과를 나타낸 Fig.2에서 볼 수 있듯이, I형 보강재를 댄 경우 세로 보강재 좌우로 큰 변형이 일어날 뿐더러, 변형 형상이 가운데 부분을 제외한 좌우가 아래로 꺼지는, 승객에게 매우 불리한 분포를 보이고 있다. 또한 좌석 벨트의 영향으로 좌우 둔부에 걸리는 충격량이 다르므로, 많은 압력이 작용하는 오른쪽 부분의 변형이 커 파괴가 예상됨을 알 수 있다. II형의 경우 변형량이 크게 준 분포를 나타내고, 응력 분포 역시 집중되지 않고 고르게 퍼지는 효과를 가져옴을 알 수 있다. 하지만 여전히 두개의 세로 보강재 사이로 변형이 모이고, 승객의 둔부를 좌우 두 부분에서 평행하게 지지하므로 충격이 가해질 경우 역시 승객에게 불리한 영향을 끼칠 수 있다. V형의 경우 응력 분포는 여전히 고르면서 변형이 존재하는 영역이 최소화되어 보강이 효과적으로 이루어짐을 알 수 있다. 또한 지지의 형상도 승객에게 가장 유리한 구조를 가지고 있어, 보강에 가장 적절한 형상으로 생각할 수 있다.

본 연구에서는 위의 V형 보강의 장점들을 살리고 형상을 개선하여, X형 보강재를 제작하기로 하고 이론적인 형상 확립에 필요한 간단한 고찰을 수행하였다. Fig.3에 보강재의 대략적 형상과 충돌시 하중이 가해지는 하중원을 표시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 보강에 주 역할을 하는 부분은 앞부분의 가로 지지대와 두 대각선 지지대로서, 하중원을 효과적으로 받치려면 보강 부분의 길이가 길어야 할 뿐더러 하중원의 면적을 고르게 보강하도록 형상 설계가 이루어져야 한다. 또한 하중원이 오른쪽으로 치우쳐 있으므로 오른쪽 보강재가 왼쪽 보강재보다 강하게 설계되어야 함을 알 수 있다.

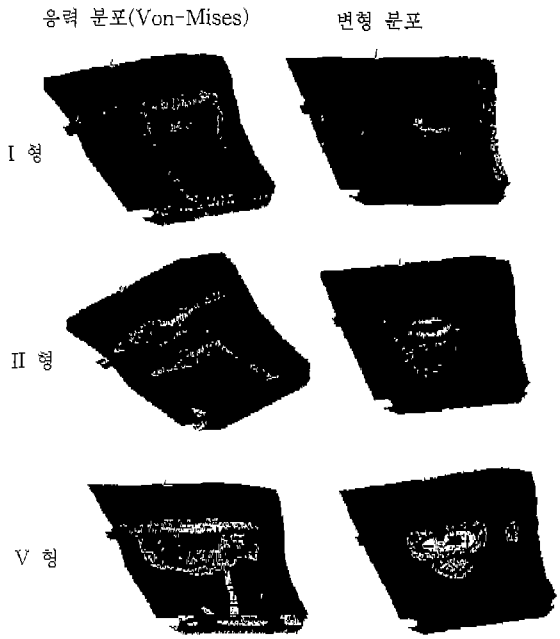


Fig. 2 Results of simple structural analyses for basic reinforcement geometries

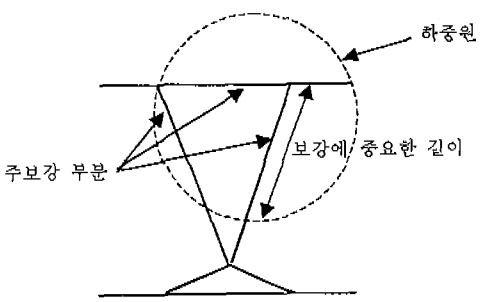


Fig. 3 Load circle and reinforcing mechanism during crash situation

보강재는 스탬핑(stamping) 공정에 의해 생산되어야 대량 생산 및 생산비 절감에 유리하므로, 보강재의 단면은 일반 I자 빔이 아닌 ㄷ 자형이어야 한다. 기존의 강철 시트 구조물에도 좌석판의 앞부분을 아래에서 지탱하는 ㄷ 자형 보강재가 삽입되어 있으므로, 여러 가지 ㄷ 자형 단면의 관성 모멘트를 기존 보강재의 값과 비교하여 강도가 동등한 최적의 단면 형상을 추측하기로 하고, 기존 형상과 세가지 다른 형상에 대한 계산 결과를 Fig.4에 나타내었다. 계산 결과 두께를 1.5mm로 할 경우 ㄷ 자의 높이가 15mm이어야 비슷한 강도를 가지나, 좌석판 아래에 장착되는 여러 가지 타 부품과의 간섭 때문에 이러한 형상은 부적절한 것으로 나타났다. 따라서 그림에 나타난 마지막 형상을 최적으로 선택하였다.

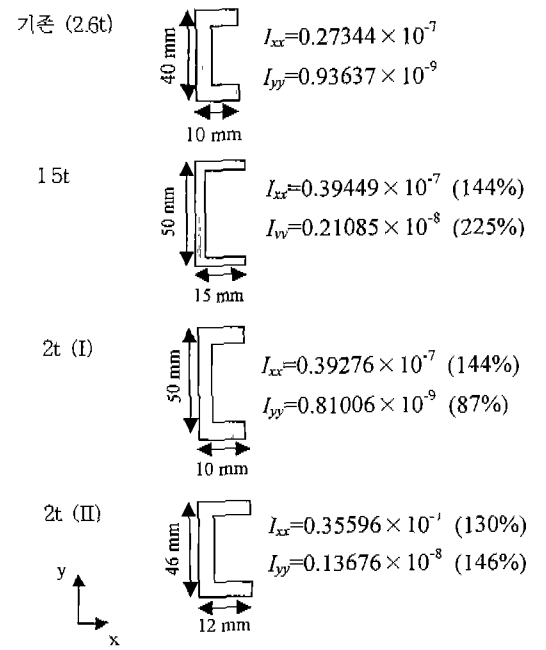


Fig. 4 Moments of inertia values for various cross sections of the reinforcement

4. 초기 모델 및 구조 해석

이제까지 설명한 개념을 이용하여 (주)대원강업에서 기존의 주변 타 부품과의 호환성을 고려하여 초기 설계를 하였고, 이 모델에 대하여 유한요소법을 이용하여 여러 가지 충돌시의 경계조건에 대한 구조해석을 수행하여 형상의 타당성을 검증하고 개선을 시도하였다. 초기 설계의 형상에 대해 구성된 계산용 모델을 Fig.5에 도시하였다. 구성된 격자계로 계산한 보강재의 무게는 약 1.29kg이다.

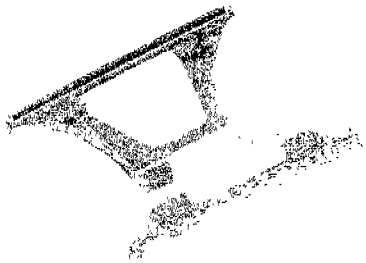


Fig. 5 Prototypical design of reinforcing support

4.1 전방 충돌

충돌 과정의 수치적 모사는 경계조건이 매우 복잡하게 순간적으로 변화하는 동적 문제로서 정확한 경계조건의 모델링은 불가능하다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 충돌 순간의 하중을 이에 동등한 정적 하중으로 바꾸어 가하고, 정적 해석을 통하여 응력과 변형의 분포를 고찰하여 형상의 최적화를 이루기로 했다. 충돌시 승객이 좌석에 부딪히는 가속도는 대략 중력가속도의 10배 정도로 생각할 수 있다[5]. 따라서 승객의 무게가 70kg이라는 가정을 하면 순간적으로 가해지는 힘은 대략 7000N이 된다. 이는 시트 제조사의 자체 안전성 시험에서 사용하는 충격 하중과도 동일하다[3-4]. 본 해석의 첫번째 경우로 좌석판의 기울어진 앞부분에 이러한 하중을 주고 응력과 변형의 분포를 고찰하였다. 안전띠의 효과에 의한 하중의 불균형을 고려하여 하중의 값들을 양쪽 지지대에 다르게 주었으며, 이러한 경계조건을 Fig.6에 도시하였다.

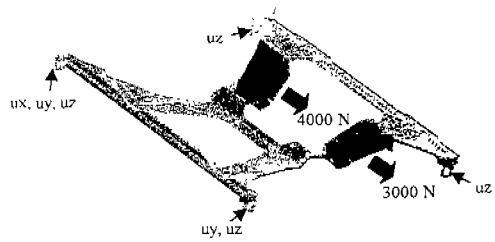


Fig. 6 Boundary conditions for the simulation of frontal crash situation

여기서 한가지 주목해야 할 사실은 동적 하중을 이러한 방식으로 정하중으로 대체할 경우 가해지는 하중의 크기가 워낙 커서 비현실적인 응력값들이 계산된다는 것이다. 비정상 효과를 배제하므로 이는 700kg의 정하중을 구조물에 가한 경우와 같게 되어 구조 해석시 가정하는 선형 응력-변형 관계를 위반하게 된다. 하지만 본 연구의 목적은 응력과 변형의 분포를 관찰하여 국부적 응력 집중이 발생하는 위치를 파악하므로써 형상의 최적화를 이루는 것이므로 응력의 절대값들은 무시되고 그 분포의 경향만을 중시하였다. 대신 기존의 시트 구조물에 동일한 경계조건의 구조 해석을 수행하여 계산되는 응력값들과의 크기 비교를 통하여 이와 같은 해석 결과의 타당성을 확인하였다[5].

해석의 결과를 나타낸 Fig.7에서 보이듯이 앞대각선 지지대의 굴곡부에 하중이 집중되는 현상을 보여 이곳의 보강이 필수적임을 알 수 있다. 또한 뒤 지지대에는 거의 응력이 걸리지 않는 결과를 보여 이 곳에서는 경량화를 위해 질량을 제거해도 됨을 암시한다.

Fig. 7 Result of frontal crash simulation (Von-Mises stress distribution)

4.2 후방 충돌

차량의 안전 검사를 위한 충돌 시험 중 두번째는 후방 충돌의 경우로서, 이때에는 승객이 관성에 의해 시트의 등받이에 하중을 가하게 되고, 이 힘이 recliner와 hinge를 통해 좌석판의 뒤 지지부분을 내리누르는 결과를 가져오게 된다. 이때의 경계조건을 결정하는 모델은 해석 결과와 직결되어 매우 중요하다. 본 연구에서는 Fig.8에 도

시한 대로 매우 간단한 시트 레일의 모델을 만들고, 등받이의 고정점에 승객에 의해 가해지는 하중을 가하여 계산되는 보강재 연결점의 변위를 보강재 구조해석의 경계조건으로 사용하였다.

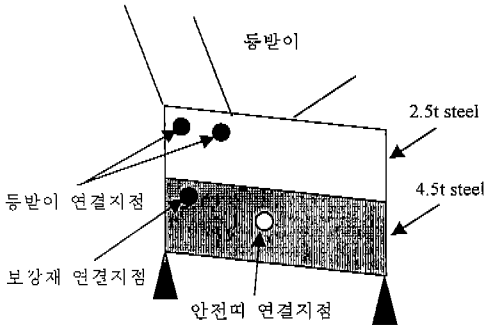


Fig. 8 A simple seat rail model for the evaluation of boundary conditions for rear crash simulation

해석 결과를 나타낸 Fig.9에서 나타나 있듯이 응력은 주로 앞 지지대의 굴곡부와 X자가 교차하는 부분에 많이 걸리므로 역시 앞부분의 보강과 뒷부분 중 중앙부와의 연결 부위의 보강이 필요함을 알 수 있다.

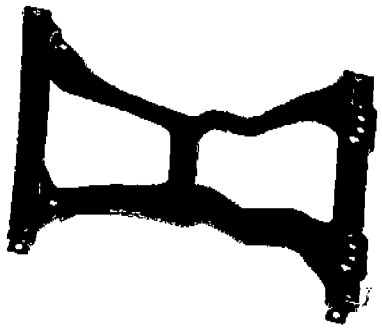
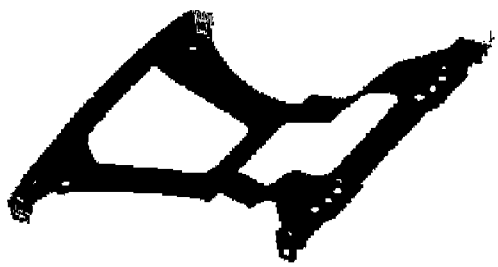


Fig. 9 Result of rear crash simulation (Von-Mises stress distribution)

4.3 안전띠에 의한 변형 해석

충돌시 좌석판에 커다란 힘을 가하는 또 하나의 경우는 승객이 좌석 앞쪽으로 이탈하면서 안전띠에 하중을 가하는 것이다. 이 경우 안전띠는 좌석판의 한쪽 구석에 부착되어 있으므로 좌석판은 뒤틀리는 하중을 받게 되는데, 이 경계 조건의 설정 또한 매우 중요하다. 본 해석에서는 후방 충돌의 경우와 비슷하게 앞서 언급한 간단한 시트 레일 모델의 안전띠 부분에 해당 하중을 가하고 보강재 연결부의 변위를 구해 이를 경계조건으로 활용하였다. Fig.10은 그 해석 결과를 나타내며, 거의 모든 하중이 ㄱ 자형으로 꺾어진 뒤 연결부에 걸려서 이 부분의 보강이 요구됨을 알 수 있다. 특히 이 부분이 약할 경우 좌석판 자체가 시트 구조물에서 이탈하는 현상이 벌어져 승객의 피해가 극대화될 수도 있다. 또한 변형 결과에서 볼 수 있듯이 다른 충돌의 경우들과는 달리 뒤의 가로 지지대 역시 상당한 하중을 받으므로 경량화를 위해 이 부분을 약화시켜서는 안된다는 점을 알 수 있다.



(a) stress distribution (Von-Mises, bottom view)

(b) deformation distribution (rear view)

Fig. 10 Simulation of loading situation by seat belt

5. 2차 개선 형상 및 추가 구조 해석

위의 초기 모델에 대한 구조해석 결과를 바탕

으로 형상 개선을 시도하였다. 주요 개선점을 정리하면 다음과 같다.

i) 앞 대각선 지지부의 보강
ii) 뒷 대각선 지지대의 질량 제거
iii) X 형의 중앙 연결 부분 보강
iv) 뒷 보강재 연결부의 보강

이와 같은 개선을 통하여 얻어진 1차 개선 모델에 대하여 역시 계산용 격자계가 형성되고 구조 해석이 실시되었다. 개선된 모델의 형상을 Fig.11에 나타내었다. 앞 지지대가 가해지는 하중의 불균형을 고려하여 보강되고, 지지대의 안쪽 부분에도 꺾어 내리는 flange가 삽입되어 강도 증가를 꾀하였다. X형의 중앙 연결부도 앞쪽 굴곡부를 지나는 지점까지 두껍게 보강되었고, 뒤 지지대에서 질량을 제거하는 대신 역시 flange를 삽입하여 강도 증가를 유도하였다. 뒤쪽 가로 지지대는 뒷좌석 승객의 발 공간을 확보하기 위하여 형상을 바꾸었다. 구성된 격자계를 이용해 계산한 중량은 1.46kg으로서, 개선 전보다 13%의 중량 증가가 예상되었다.

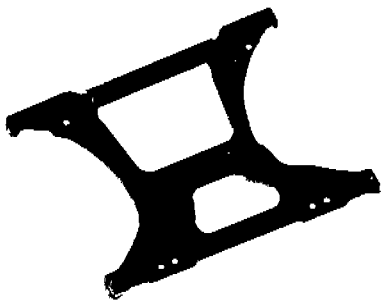


Fig. 11 Modified geometry of reinforcing support

5.1 전방 충돌

개선 전의 모델에 사용한 동일한 전방 충돌 조건을 가하고 해석 결과를 Fig.12에 나타내었다. 결과에서 확연히 드러나듯이 앞쪽 지지대에 걸리는 하중이 대폭 감소하여 보강이 효과적으로 이루어졌음을 알 수 있다. 하지만 변형 전후의 형상 차이를 나타낸 Fig.13에서 볼 수 있듯이 변형이 모두 앞쪽 첫 굴곡부에 집중되어, flange의 삽입이 이 부분까지 연장되어야 함을 암시한다.

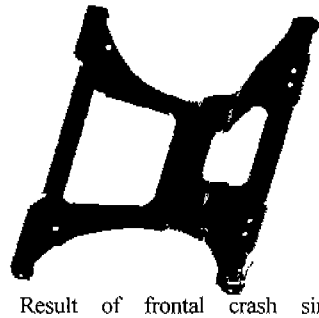


Fig. 12 Result of frontal crash simulation for modified geometry (Von-Mises stress distribution)

Fig. 13 Deformed shape of reinforcement in frontal crash simulation

5.2 전방 충돌의 2차 충격 해석

충돌 시험 비디오의 관찰 결과 전방 충돌시 승객이 앞으로 이탈하다가 안전띠에 의해 다시 좌석측으로 끌어당겨지면서 좌석판의 앞부분에 강한 수직 하중을 아래로 가함을 알 수 있었다. 이는 기존의 시트구조물에도 좌석판 앞부분에 가로 지지대가 삽입되었던 이유이므로, 현 보강재의 안전성 검토를 위해서는 이에 대한 해석이 필수적이라는 판단하에 이를 모델링하였다. 경계 조건으로는 앞의 안전띠 해석시 가했던 하중이 반동에 의해 되돌려 가해진다는 가정하에 수직 성분을 득립시켜 좌석판의 앞부분에 수직하중으로 가하였다.

해석 결과를 나타낸 Fig.14를 보면 가로 지지대에 매우 큰 변형과 응력이 발생하며, flange가 삽입된 가로 지지대의 앞부분보다 삽입되지 않은 뒷부분에 더 큰 응력이 걸려 가로 지지대의 뒷부분에도 flange를 삽입해야 함을 알 수 있다. 또한 두 대각선 지지대의 앞부분에 상당한 뒤틀림 응력이 발생하므로 이곳의 보강 또한 필요하다.

(a) stress distribution

(b) deformed shape

Fig. 14 Results of secondary impact in frontal crash situation for modified geometry

5.3 후방 충돌

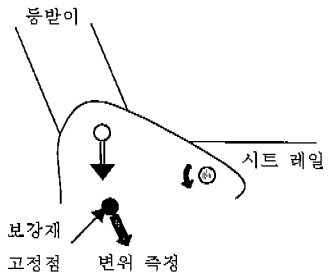
개선된 형상에 앞서 수행했던 후방 충돌 해석보다 더욱 가혹한 조건을 가하여 안전성을 고찰하였다. 충돌 시험 비디오 관찰에 의해 동받이와 hinge의 연결부 부품의 회전 변위를 측정하고, 이를 보강재 해석에 경계조건으로 적용하였다. 경계 조건과 해석 결과를 나타낸 Fig.15에서 알 수 있듯이 X자형의 중앙부와 뒤 대각선 지지대의 연결부에 응력이 집중되어 보강을 위한 flange 삽입이 이 부분까지 연장되어야 함을 암시하였다.

5.4 안전띠에 대한 해석

앞의 경우와 비슷한 안전띠 조건에 대한 해석을 수행한 결과를 Fig.16에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 뒤쪽 가로 지지대에 큰 응력과 변형이 발생하므로 형상 개선시 응력의 집중이 생기지 않도록 설계가 요구된다.

5.5 최종 설계 개선안

이제까지의 구조 해석 결과를 토대로 다음과 같은 최종 개선안을 제안할 수 있다.

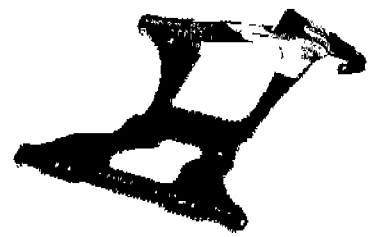


(a) boundary condition concerning the rotation of hinge part

(b) Von-Mises stress distribution

Fig. 15 New boundary conditions and results of rear crash simulation

(a) Von-Mises stress distribution



(b) deformed shape (exaggerated)

Fig. 16 Results of seat belt loading simulation for modified geometry

i) 앞측 가로 지지대의 뒤쪽에도 flange를 삽입하여 보강 효과를 높인다.
ii) 앞쪽 대각선 가로 지지대의 flange를 앞쪽 첫 굴곡부까지 연장하고, 보강용 엠보싱을 삽입하여 전방 충돌의 2차 충격시 뒤틀림에 대한 보강을 한다.
iii) X형의 중앙부와 뒤쪽 대각선 지지대의 연결부까지 flange를 연장하여 보강한다.
iv) 뒤쪽 가로 지지대의 형상을 개선하여 응력 및 변형의 집중을 방지한다.

6. 시제품의 제작 및 충돌시험

구조 해석의 결과에 의해 최적화된 형상의 시제품이 제작되었다. 보강재와 복합재료 좌석판은 ㈜대원강업에서 스탬핑 공법에 의해 제조하였고, 좌석판의 재료로는 ㈜한화종합화학에서 제공한 상호명 GMT RD30의 유리섬유와 PP 수지를 섬유체적분율 30%로 혼합한 재료를 이용하였으며 금형 제작은 서일금형에서 담당하였다. 제작 단계에서 기존의 강철 구조물에 필요하던 8개 부품 모두에 대한 프레스 작업은 단 한번의 강철 보강재에 대한 일반적 스탬핑 작업으로 대신되고 부가적으로 기존 공정에 필요하던 모든 용접 단계는 생략될 수 있었다. 또한 복합재료 좌석판의 경우도 단 한번의 스탬핑 작업만으로 완료되어, 결과적으로 제작 공정 단계 및 시간이 대폭 단축되었다. 스탬핑 작업 역시 기존 제작사 소유의 장비를 활용할 수 있었으므로 결과적으로 대량 생산시 큰 생산비 절감 효과를 예측할 수 있었다[8].

제작된 보강재와 복합재료 좌석판의 총 무게는 2.0kg로서 기존의 강철 구조 제품과 비교하여 약 33%의 경량화 효과를 가져 올 수 있었다. 이는 전체 차량 중량에 비하면 0.25%로 미미하지만 하나의 구조물에서 개념 혁신을 통해 1/3의 무게를 줄일 수 있다는 가능성을 제시한 점에서 성공적으로 평가될 수 있다[8]. 시제품의 최종 형상 및 조립도, 조립된 형상과 시트 구조물에 장착한 사진 등을 Fig.17에 제시하였다.

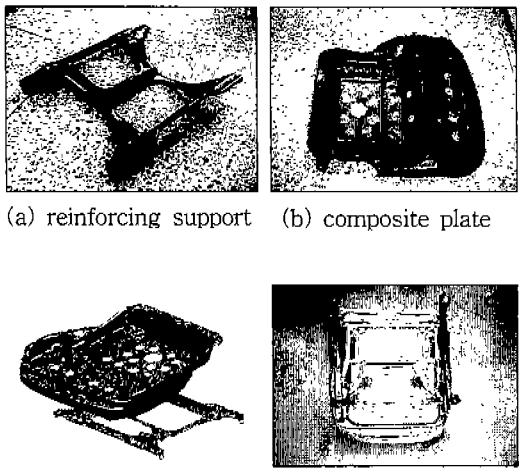

(a) reinforcing support (b) composite plate
(c) assembling schematics (d) assembled plate
(e) complete seat structure

Fig. 17 Photographs of manufactured sample parts and assembled seat structure

제작된 시제품으로 자동차성능시험연구소에서 모의 충돌 시험(sled test)을 수행하였다. 시험은 정면 충돌과 후면 추돌 두가지 경우에 대해 수행하였으며, 이중 후면 추돌 시험 장면을 Fig.18에 나타내었다. 비교 대상으로는 동급 차종의 비교 대상으로 채택할 수 있는 기존의 강철 좌석판과 상용화된 복합재료 시트 구조물인 독일 BMW 3 series의 좌석판을 채택하여 충돌 시험 결과를 비교하였다[7]. 시험후의 좌석판 사진을 Fig.19에 도시하였다. 결과에서 볼 수 있듯이, 강철 보강재의 효과적 설계로 인하여 어떤 시험의 경우에도

복합재료 좌석판에 결정적인 파단 현상을 막을 수 있었으며, 따라서 승객이 좌석을 이탈하지 않고 안전하게 보호되었다. 정면 충돌시 시험 속도가 타 비교 경우에 비해 높았음에도 불구하고 승객의 상해값이 매우 양호하였다. 또한 정면 충돌시 승객의 안전성에 큰 영향을 미치는 가라앉음(submarine) 현상이 거의 없어 승객 보호 특성이 우수함을 입증하였다. FMVSS 301 기준에 맞춘 후면 추돌 시험시 표 1에서 볼 수 있듯이 복합 목상해값이 BMW사의 제품보다 낮게 나타나 복합재료 좌석판의 에너지 분산 효과가 승객의 안전성을 높이는 역할을 함을 암시하였다. 또한 머리 상해값 및 가슴 상해값 역시 미미하여 안전성에 전혀 문제가 없음을 검증할 수 있었다.

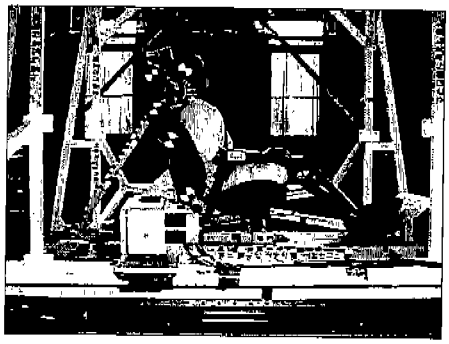


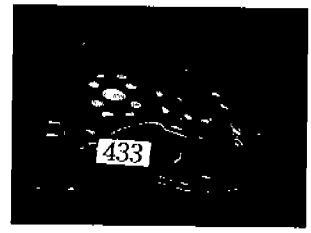
Fig. 18 Photograph of sled test simulating rear crash

7. 결론

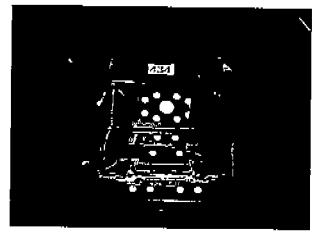
부품 수를 8개에서 2개로 줄이고 재료의 대체를 통해 공정 단계의 최소화와 생산 원가의 절감 및 대폭적인 경량화 등의 효과를 가지는 신개념의 승용차 운전석용 하이브리드형 좌석판이 설계되었다. 기초적인 개념 확립을 시작으로 간단한 구조 해석을 통해 기본 형상을 결정하고, 기존의 타 부품들과의 간섭과 호환성을 고려해서 얻은 1차 형상에 대해 여러 가지 충돌 상황을 모사하는 구조해석의 결과를 고찰하여 형상 개선을 시도하였다. 이렇게 얻어진 개선 형상에 대하여 부가적인 구조 해석을 수행하여 최종 개선안을 결정하고 시제품을 제작하였다. 제작된 시제품에 대한 모의 충돌 시험 결과 구조물의 안전성이 기존 제품 및 타사 제품과 비교하여 20%정도 향상되어 승객 안전 보호 성능이 뛰어남이 입증되었다.

Table 1 Comparison results of rear crash tests

	BMW 좌석	Steel 좌석	경량 좌석
후면	· 승객거동 양호 · HIC : 172 · Chest g : 13g · C-def. : 0mm, · CTI : (ΔV=33km/h)	· 승객거동 양호 · HIC : 76 · Chest g : 16g, · C-def. : 0mm, · CTI : (ΔV=34km/h)	· 승객거동 양호 · HIC : 49, 105 · Chest g : 10g, 12g · C-def. : 0mm, 0mm · CTI : (ΔV=38km/h, 35km/h)
비고	고급사양 좌석	-	시험속도(ΔV)가 상대적으로 높음



(a) sample after frontal crash test



(b) sample after rear crash test

Fig. 19 Photographs of the samples after crash tests

후 기

본 연구는 공업기반기술 개발사업의 운전석용 경량 씨트 프레임 개발을 위한 연구의 일부로서 관계자 여러분께 깊은 감사를 드린다.

참 고 문 헌

1. K.N. Tribbett, J.C. Lynn, "Evaluation of Automotive Front Seat Structure Constructed of Polymer Composite", *SAE 920335*, pp.270-274, 1992.
2. L.E. Nielsen, R.F. Landel, "Mechanical Properties of Polymers and Composites", *Marcel Dekker, Inc.*, 1994.
3. 최금호, 송병록, 이우일, 심진욱, "승용차 운전석용 경량 시트 프레임 시제품의 개발", 한국자동차공학회 추계학술대회 논문집, pp855-862, 1997.
4. 최금호, 이병휘, 김희성, 김정인, "승용차 운전석용 경량 시트 프레임 해석· 설계," 사단법인 한국복합재료학회 추계학술발표대회 논문집, pp121-124, 1997.
5. 최금호 외 32인, "승용차 운전석용 경량 씨트 프레임에 개발에 관한 연구 최종 보고서", 기술 표준원, 1999.
6. S.H. Crandall, N.C. Dahl, T.J. Lardner, "An Introduction to the Mechanics of Solids", *McGraw-Hill, Inc.*, 1978.
7. 이재완, 윤경한, 박형원, 최금호, 이병휘, 송병록, 김희성, "운전자용 경량 좌석의 안전성에 대한 실험적 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회 논문집(제출), 1999.
8. 자동화기술과 6월 16일 보도자료, 기술표준원, 산업자원부, 1999.